جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره سی و دوم، زمستان ۱۳۹۸

صص ۱۱۷- ۱۰۳

DOI: https://doi.org/10.22067/geo.v0i0.79116

مقاله پژوهشی

پیش‌بینی تعداد روزهای گرد و غباری سالیانه در استان خراسان رضوی با تحلیل‌های فضایی- زمانی

احمد حسینی[۱]- استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور، ایران

بهلول علیجانی- استاد گروه جغرافیا، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

یدالله واقعی- دانشیار گروه آمار، دانشکده آمار و ریاضی، بیرجند، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۲۱ تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۶/۳

چکیده

یکی از مهم‌ترین چالش‌های محیطی در سالیان اخیر در استان خراسان رضوی پدیده گرد و غبار است. بر این اساس پیش‌بینی فضایی- زمانی تعداد روزهای گرد و غباری سالیانه با استفاده از روش کریجینگ و با کمک نرم‌افزار R مورد بررسی قرار گرفت که در آن سرعت باد ۱۵ متر در ثانیه و بیشتر و دید افقی زیر ۱۰۰۰ متر از نظر سازمان هواشناسی جهانی به عنوان روز گرد و غباری در نظر گرفته شد. پس از حذف همپوشانی داده‌ها از دو ماتریس فضایی- زمانی دید افقی و سرعت باد، آرایه SP Data به صورت ترکیبی از ماتریس و بردار در کلاس STFDF و STF ساخته شد. سپس تمامی مدل‌های تفکیک‌پذیر و غیر تفکیک‌پذیر، به مدل تجربی داده‌ها برازش داده شدند که تغییرنگار متریک با کمترین میانگین مربعات خطا به عنوان بهترین مدل برای پیش‌بینی تعداد روزهای گرد و غباری سالیانه انتخاب شد. خروجی مدل نشان داد که داده‌ها تا ۵ سال دارای وابستگی فضایی- زمانی هستند، لذا می‌توان تا سال ۲۰۲۲ تعداد روزهای گرد و غباری را برآورد نمود. حدود اطمینان تعداد روزهای گرد و غباری در سطح ۹۵٪ نشان داد در سال ۲۰۱۹ ایستگاه سبزوار با ۵۶ روز بیشترین و ایستگاه گناباد با ۲۶ روز کمترین تعداد روز گرد و غباری را خواهند داشت. همچنین پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد تعداد روزهای گرد و غباری در استان خراسان رضوی از ۳۹ روز تا ۴۲ روز در سال ۲۰۲۲ می‌رسد که روندی افزایشی دارد.

کلیدواژه‌ها: تغییرنگار فضایی- زمانی، پیش‌بینی، روزهای گرد و غباری، استان خراسان رضوی، تحلیل‌های فضایی- زمانی.

---

۱ نویسنده مسئول ۰۹۱۵۵۶۱۳۳۱۶ Email: Ahmad_hossayni@yahoo.com

۱- مقدمه

ازجمله مهم‌ترین پدیده‌های هواشناسی در نواحی استان خراسان رضوی می‌توان به طوفان شن و خاک[1] با سرعت باد ۱۵ متر بر ثانیه و بیشـــتر و طوفان گرد و غبار یا ریزگرد[2] با دید افقی کمتر از ۱۰۰۰ متر اشـــاره کرد (ســـازمان هواشناسی جهانی، ۲۰۱۵). به این دو پدیده به اصطلاح، طوفان گرد و غبار[3] گفته می‌شود (سازمان هواشناسی جهانی، ۲۰۱۱). ســازمان جهانی بهداشــت برآورد نموده اســت که سالانه ۵۰۰ هزار نفر بر اثر مواجهه با ذرات معلّق هوابُرد موجود در هوای آزاد، دچار مرگ زودرس می‌شـوند. بر اسـاس این برآورد، هزینه سـالیانه صرف شده برای بخش سلامتی و بهداشت ناشی از آلودگی هوا در اتریش، فرانسه و سوئیس حدود ۳۰ میلیارد پوند بوده است که این میزان معادل ٦ درصد از کل مرگ و میرهای این کشورها است (Colles J.2003).

این وضـعیت در سـال‌های اخیر در اسـتان خراسان رضوی شرایط مشابهی داشته است. تحلیل فضایی- زمانی کدهای طوفان‌های گرد و غبار نشان می‌دهد که میانگین روزهای گرد و غباری در ایستگاه‌های منتخب استان خراسان رضـــوی طی دوره آماری ۱۹۸۷ تا ۲۰۰٦، برابر با ۲۱ روز بوده اســـت که مشـــهد با ۳۸ روز بیشـــترین، ســـبزوار و تربت‌حیدریه با ١٤ و ۱۰ روز کمترین تعداد روزهای گرد و غباری را داشته‌اند (فرج زاده و علیزاده،۱۳۹۰). همچنین تحلیل آماری- همدیدی طوفان‌های گرد و غبار در فاصله زمانی ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۵. نشان می‌دهد تعداد طوفان‌های گرد و غبار از شمال به جنوب استان خراسان رضوی افزوده می‌شود. (لشکری و دیگران،۱۳۸۷) با این وجود بررسی‌ها در ایســتگاه ســینوپتیک سبزوار در طی دوره آماری ۱۳٦۷ تا ۱۳۸۷ نشان می‌دهد بیشترین احتمال وقوع گرد و غبار در ماه‌های اردیبهشــت و خرداد اتفاق افتاده اســت و بیش از ۷۱ درصــد در بعدازظهرها روی می‌دهد. همچنین وقوع روزهای همراه با گرد و غبار در شهرستان سبزوار، روند افزایشی داشته است (مهرشاهی و نکونام، ۱۳۸۸)، و تعداد روزهای گرد و غباری آن نیز به‌طور متوسط در سال به ۱۵ تا ۱۷ روز می‌رسد که فصل بهار شایع‌ترین زمان بروز این پدیده بوده است (امیدوار و نکونام، ۱۳۹۰). همچنین مطالعات در دوره آماری ۲۰۰٤ تا ۲۰۱۳ از نظر پراکندگی فضایی در استان خراسان رضوی نیز نشان می‌دهد، بیش‌ترین روزهای گرد و غباری مربوط به نواحی شمال شرق سرخس به دلیل نزدیکی با بیابان ترکمنستان، شرق و غرب و جنوب استان خراسان رضوی بوده است که کاهش پوشش گیاهی بر تعداد روزهای گرد و غباری تأثیر داشته است؛ به‌طوری که در سال ۲۰۰۸ بیش‌ترین روزهای گرد و غباری دیده شده است که این سال خشک‌ترین سال دوره آماری بوده است (پورهاشمی سمیرا و همکاران، ۱۳۹٤).

مطالعات پایش ماهواره‌ای و تحلیل همدید پدیده گرد و غبار در کلان شهر مشهد، طی دوره آماری ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۳ برای تعیین مناطق منشأ گرد و غبار با کمک مدل روش پسگرد در ٢٤ ساعت قبل از وقوع در روزهای آماری، بسته

1 Sand Storm (SA).
2 Dust storm, Dust Haze (DU).
3 Sand and dust storms (SDS).

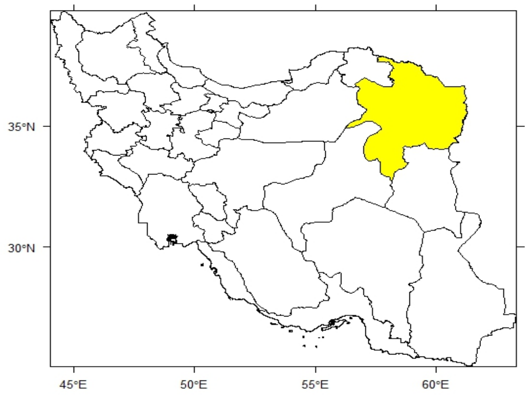
به مسیر گرد و غباری نشان داد در طی دوره گرم سال آسیای مرکزی، بیابان‌های شرق ترکمنستان، افغانستان و اراضی تغییریافته دشـت‌های شـمال شـرق کشور و در طی دوره سرد سال طوفان‌های گرد و غباری جهت خاصی ندارند. (محمدی و همکاران، ١٣٩٤).

استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی در بررسی روابط بین عناصر اقلیمی و نوسانات آلودگی هوا در کلان شهر مشـهد (کاخکی مهنه، ١٣٩٢)، پیش‌بینی ارزش‌گذاری و ترسیم نقشه آلودگی هوای شهر مشهد (ضیائی و همکاران، ١٣٩٠)، بررسـی آماری سـینوپتیکی آلودگی هوای مشـهد (جهانشـیری، ١٣٨٩)، ارزش‌گذاری ویژگی‌های مختلف آلودگی هوا در مشـهد (قربانی و همکاران، ١٣٨٨) و بررسی سینوپتیک اینورژن در مشهد با استفاده از تحلیل عاملی (علیجانی و نجفی نیک، ١٣٨٨) مواردی از تحقیقات انجام شده در این منطقه می‌باشد که هیچ‌کدام از این تحقیقات بر مدل‌های پیش‌بینی تاکید نداشته‌اند؛ لذا با توجه به اهمیت موضوع و فراوانی وقوع پدیده گرد و غبار در استان خراسان رضوی هدف اصلی از این پژوهش، پیش‌بینی تعداد روزهای گرد و غباری سالیانه با کمک مدل فضایی- زمانی است تا بتوان نقاط بحرانی را در زمان‌ها و مکان‌های مورد دلخواه پیش‌بینی و از خسارت وارده به این مناطق جلوگیری کرد که با فرض معلوم بودن پارامترهای مدل، شـامل میانگین، واریانس و در نظر گرفتن تغییرات توأم فضـایی- زمانی داده‌ها، پیش‌بینی تعداد روزهای گرد و غباری سالیانه در سال‌های آینده مورد بررسی قرار می‌گیرد.

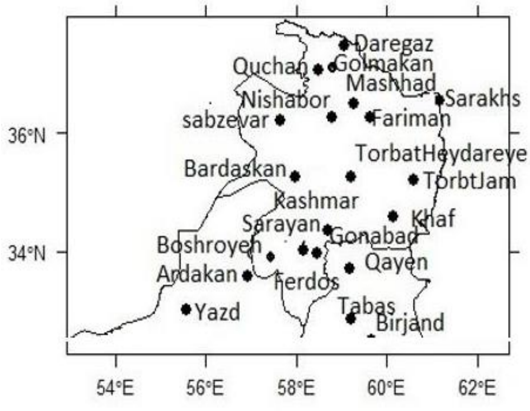
٢- مواد و روش‌ها

٢-١- منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه به ترتیب بین ٥٦ تا ٦١ و ٣٤ تا ٣٨ درجه طول و عرض جغرافیایی در شمال شرق کشور واقع شـده اسـت (شـکل ١) موقعیت مراکز شـهرسـتان‌ها و ایسـتگاه‌های مورد مطالعه در استان خراسان رضوی و ایستگاه‌های مجاور در شکل دو آمده است.

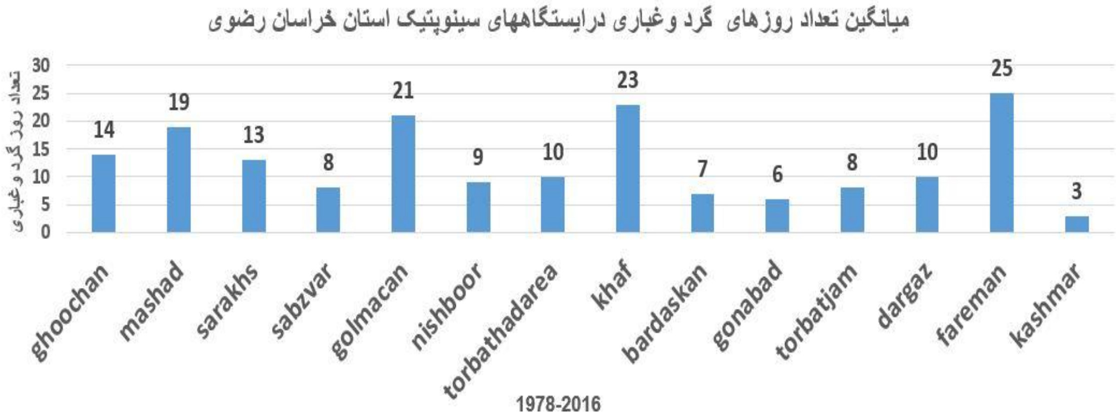


شکل ١- منطقه مورد مطالعه



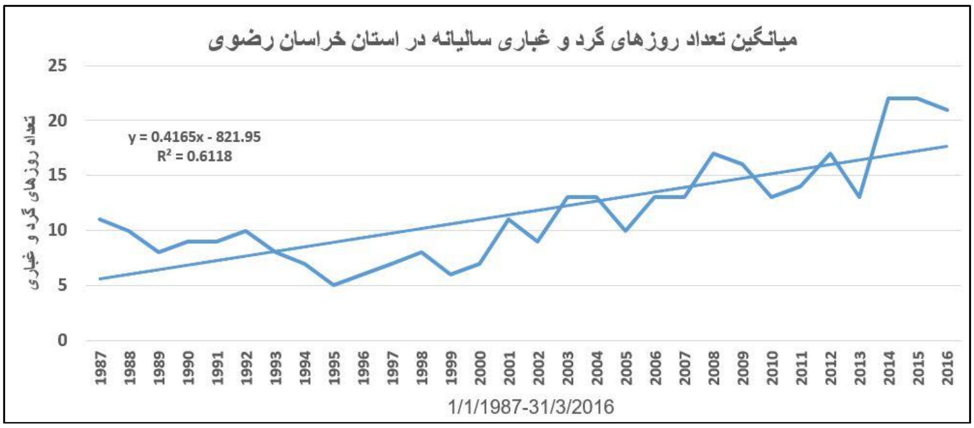
شکل ٢- موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه

شکل شماره ۳ میانگین روزهای گرد و غباری در طول دوره آماری نشان می‌دهد که ایستگاه فریمان با ۲۵ روز و خواف با ۲۳ روز، گلمکان با ۲۱ روز و مشهد با ۱۹ روز دارای بیشترین و ایستگاه‌های سبزوار، نیشابور، تربت‌حیدریه، بردسکن، گناباد، تربت جام و کاشمر کمترین تعداد روزهای گرد و غباری سالیانه را در طول دوره آماری داشته‌اند.



شکل ۳- میانگین تعداد روزهای گرد و غباری سالیانه در طی دوره آماری ۱۹۸۷/۰۱/۰۱ لغایت ۲۰۱۶/۱۲/۳۱

شکل ٤- تعداد وزهای گرد و غباری سالیانه در استان خراسان رضوی را نشان می‌دهد که علیرغم نوسانات شدید، روند کلی آن در سال‌های اخیر در حال افزایش است. نتایج برازش مدل رگرسیون خطی نشان داد که این روند معنی دار (آماره F برابر ٤٤/١٢ و P-مقدار برابر $۳/۳۱۱\times۱۰^{-۷}$) بوده است.



شکل ٤- روند روزهای گرد و غباری در استان خراسان رضوی

۲-۲- روش پژوهش

در این تحقیق از آمار سـرعت باد ۱۵ متر و بیشـتر و دید افقی کمتر از ۱۰۰۰ متر به ترتیب به عنوان SA وDU دردوره آماری ۱۹۸۷/۱/۱ تا ۲۰۱۷/۳/۳۱ به صـورت روزانه اسـتفاده شـده است که با در نظر گرفتن ١٤ ایستگاه در منطقه مورد مطالعه پس از اسـتاندارد سـازی داده‌ها، در میدان تصـادفی Z(.) به صـورت زیر تجزیه شـده اسـت (Cressie, N. 1993)

$$Z(s,t) = \mu(s,t) + \delta(s,t), \quad s\epsilon\mathbb{R}^2, t\epsilon\mathbb{R}.$$

جهت مدل سـازی، پردازش و برآورد داده‌ها از دو فرمت STF [1] و STFDF [2] (Pebesma, E. 2013) در طی سال‌های پیش رو استفاده شد که هر کدام از این دو فرمت ترکیبی از ماتریس و بردار است بدین سان داده‌های فضایی و زمانی در قالب جداول جداگانه به صورت X,Y,T ساخته شدند سپس در فرمت‌های طولانی با مشخص کردن هر رکورد، ترکیب زمانی و فضایی داده‌ها[3] به دست آمد، (Pebesma,E.2012)

با توجه به منطقه مطالعه و هدف پژوهش با حذف مقادیر داده‌های مفقود شـده[4] شکل داده‌ها تحت عنوان آرایه sp data با توجه به رابطه زیر ساخته شد:

$$\{z(s_{i,j}); s_{i,j} = (X_{i,}Y_{i,}\ \ t_{i,}); i = 1,2,\dots,n; j = 1,2,\dots,T\}$$

در آن اندیس i به شماره مکان (موقعیت مشاهده) و اندیس j به شماره زمان اشاره دارد.

سـپس بردار X,Y داده‌ها به صورت سیستم تصویر مرکاتور معکوس جهانی[5] تهیه شد، فاصله قطری[6] مستطیل محاطی محدوده مورد مطالعه از رابطه:

$$D/3=B$$

محاسـبه شـد در نهایت برای تغییر نگار تجربی زمانی[7] تا ۱۰ سـال و برای تغییر نگار تجربی فضـایی[8] تا ٤٥٠ کیلومتر در کلاس SP محاسبه گردید. سپس با توجه به تابع کواریانس فضایی-زمانی[9]:

---

1 Spatio-temporal Function.
2 Spatio-temporal Function Data Frame.
3 Spatio-temporal full grids Data.
4 NA.
5 Universal Transverse Mercator (UTM).
6 cut off.
7 $C_t(h_t)$.
8 $C_s(h_s)$.
9 Spatial Temporal covariance function

$$C_{st}(h_s,h_t) = C_s(h_s)C_t(h_t)$$

که در آن:

$C_s(h_s)$ تغییر نگار صرفاً مکانی

و $C_t(h_t)$ تغییر نگار صرفاً زمانی است.

تابع هم تغییرنگار هر کدام از تغییرنگارها به تفکیک به دست آمد و داده‌ها به دو تغییرنگار فضایی و زمانی به صورت مجزا برازش داده شدند (De Cesare et,at.2001) پس از آن تغییرنگار تجربی فضایی و زمانی با استفاده از روش کریجینگ و از رابطه زیر محاسبه شد (محمدزاده، ۱۳۹۱):

که در آن:

$$2\hat{\gamma}(h_s,h_t) = \frac{1}{|N(h_s,h_t)|}\sum_{N(h_s,h_t)}\left(Z(s+r_s,t+r_1)-Z(s,t)\right)^2, h_s \in R^d, h_t \in R^+$$

که $N(h_s,h_t)$ نشان دهنده مجموعه همه زوج مشاهداتی است که فاصله آن‌ها در همسایگی بردار h_s و فاصله زمانی آن نزدیک h_t باشد.

پس از ترسیم تغییرنگار فضایی – زمانی تجربی داده‌ها، جهت برازش داده‌ها به مدل تغییرنگارضایی– زمانی استقلال و همبستگی داده‌ها بررسی شد. برای همبستگی فضایی از آزمون موران (Gaetan, C & Guyon, X. 2010.) و برای همبستگی زمانی از رَند تست (Caeiro, F.& Mateus, A. 2015) استفاده شد. جهت تعیین نوع کریجینگ، مانایی و همسانگردی داده‌ها نیز مورد بررسی قرار گرفت و نقشه سه بُعدی تغییرنگار نیز ترسیم شد. سپس مدل‌های نظری گوسی، نَمایی، کروی، سهمیگون، خطی، بِسِل و مَترنه مدل‌های تغییر تغییر نگار تجربی فضایی و زمانی جداگانه برازش داده شدند و در نتیجه مقادیر آستانه جزئی، اثر قطعه‌ای، دامنه و مجذور مربعات خطا محاسبه شد. پس از آن تمامی مدل‌های نظری فضایی – زمانی تفکیک‌پذیر و تفکیک ناپذیر، مجموعاً ١٤٤ مدل، شامل: ضربی، جمعی– ضربی، متریک، متریک جمعی و متریک جمعی ساده با تغییر نگارتجربی فضایی– زمانی برازش داده شدند (Pebesma,E & Gräler, B.,2016) که مدل ضربی – جمعی با داده‌ها، همگرا نشد و در نتیجه این مدل حذف گردید. در نهایت بهترین مدل با کمترین مجذور مربعات خطا جهت برآورد و پیش‌بینی تعداد روزهای گرد و غباری سالیانه انتخاب شد. در نتیجه برآورد تعداد روزهای گرد و غباری با استفاده از روابط زیر به دست آمد (محمدزاده، ۱۳۹۱):

$$\mathrm{E}(Z(\mathrm{s}_0,t_0)-[Z(\mathrm{s}_0,t_0)]^*)^2$$
$$[\mathrm{Z}(\mathrm{s}_0,t_0)]^* = \mathrm{E}\left(\mathrm{Z}(\mathrm{s}_0,t_0)\middle|(\mathrm{n})\right)$$

که در آن، عبارت $E(Z(s_0, t_0)|(n))$، مقدار مورد انتظار $Z(s_0, t_0)$ با شرط در اختیار داشتن n مقدار آن برابر با $Z(s_N, t_T)$، $Z(s_N, t_{T-1})$،...و $Z(s_1, t_1)$ است. این بدان معناست که برآورد کریجینگ به صورت تعداد روز گرد و غباری سالیانه خواهد بود. در این راستا کریجینگ برای موقعیت فاقد مشاهده (s_0, t_0) به صورت زیر به دست آمد (محمدزاده، ۱۳۹۱):

$$[Z(s_0, t_0)]^* = \sum_{j=1}^{T} \sum_{i=1}^{N} \lambda(s_i, t_j) Z(s_i, t_j)$$

که در آن، $\lambda(s_i, t_j)$ ضـرایب کریجینگ هستند، که در نهایت بر اساس کلاس STFDF محاسبه و تغییرنگار سه بُعدیو رویه آن نیز ترسـیم شد (Hengel, T,et.al, 2015) پیش‌بینی برای ٦ سال آینده به صورت عددی و بر اساس سـیستم مختصات UTM صورت پذیرفت و مقادیر پیش‌بینی شده بر روی منطقه مورد مطالعه پلات شدند. یکی از مهم‌ترین شـاخص‌ها جهت حصول اطمینان از برآورد احتمال روز گرد و غباری، محاسبه مقادیر خروجی در سطح اطمینان ۹۵٪ است که با استفاده از رابطه (Cressie،N. ۹۳):

$$A \equiv \left(\hat{Z}(s_0) - 1.96\sigma_K(s_0), \left(\hat{Z}(s_0) + 1.96\sigma_K(s_0)\right)\right)$$

برای تک تک ایستگاه‌ها در استان خراسان رضوی انجام شد. این موضوع حداکثر قابلیت وقوع تعداد روزهای گرد و غباری (کران بالای فاصله اطمینان ۹۵٪) را نشان می‌دهد که می‌تواند میزان حصول اطمینان از مدل عددی را مشخص کند.

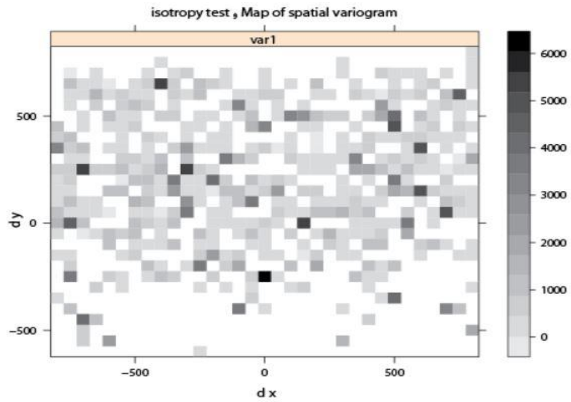
بدین منظور از بسته‌های نرم افزاری gstat (Pebesma, et al, 2017)، Spacetime(Pebesma, et al,۲۰۱۲) و SP (Pebesma, et al, 2017)، Raster (Robert J,2016)، spdep (Bivand, R. er al. 2017) و R Google Maps (Kilibarda.M,2013 و Loecher, M. 2016) برنامه نویسی لازم انجام و از محیط نرم افزاری R (R Development Core Team. 2011) استفاده شده است

۳- نتایج و بحث

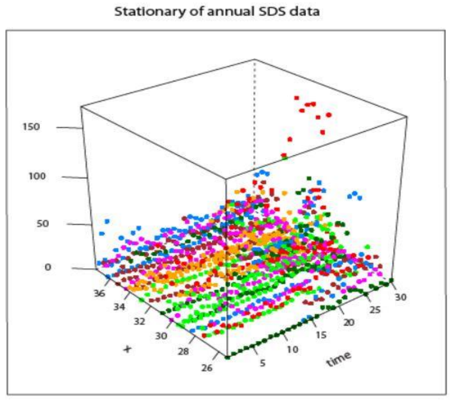
۳-۱- آزمون و برازش مدل تغییر نگار

با برازش داده‌ها به مدل تغییرنگار فضـایی- زمانی، اسـتقلال و همبستگی داده‌ها نشان داد که داده‌های SDS در سطح اطمینان ۰/۰۵٪ معنی دار و وابسته هستند. لذا می‌توان روزهای گرد و غباری را برای سال‌های آینده پیش‌بینی کرد. مشاهدات در محورهای مختصات x و y و t برای طوفان شن و طوفان گرد و بیانگر این است که داده‌ها دارای

روند خاصـی در هیچ یک از مقادیر $Z(s_i, t_i)$ در جهت‌های x و y و t نیسـتند (شـکل ٥). مقادیر y با تغییررنگ داده‌ها نشان می‌دهد که داده‌ها دارای مانایی ذاتی بوده و می‌توان بر روی آن تحلیل فضایی- زمانی انجام داد (x طول جغرافیایی،time زمان، y تغییرات رنگ Z مقدار عددی متغیر).



شکل ٦- بررسی همسان گردی تغییرنگار فضایی

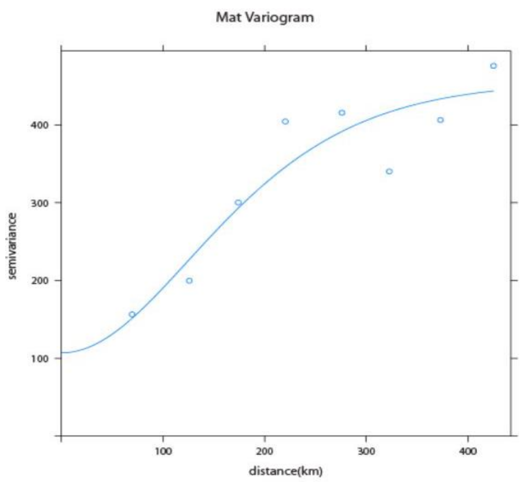


شکل٥- بررسی مانایی در داده

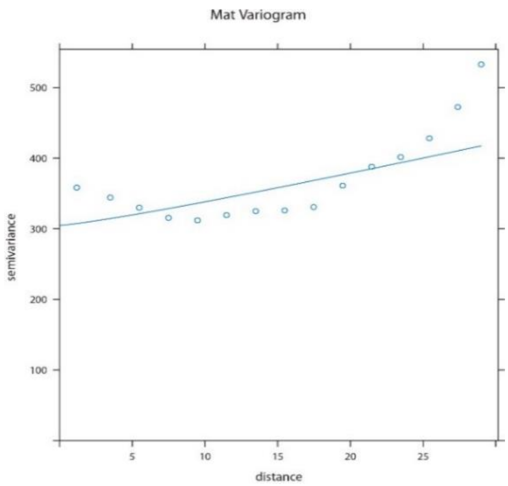
شکل ٦ رُویه نیم تغییرنگار فضایی را نشان می‌دهد. با توجه به این که نیم تغییرنگار در تمام جهات تقریباً بر هم منطبق است و تفاوت معنی داری نسبت به هم ندارد؛ لذا داده‌ها همسانگردند.

۳-۲- برآورد تغییرنگار فضایی- زمانی

تغییر نگار تجربی فضایی- زمانی $C_s(h_s)$ تا فاصله ٤٥٠ کیلومتری نشان می‌دهد که گاما، سیر صعودی داشته و در لَگ های انتهایی، نوسـانات شدیدی در آن دیده می‌شود. دامنه این تغییر نگار طولانی است و در نهایت به سقف نمی‌رسد. تغییر نگار تجربی زمانی $C_t(h_t)$ با فاصله زمانی ۳۰ سال نشان می‌دهد علیرغم این که مقادیر خروجی گاما در لَگ های میانی به هم نزدیک‌تر می‌شود در نهایت دامنه آن نیز طولانی است در هر دو تغییرنگار، بزرگ‌تر بودن آستانه جزئی از اثر قطعه‌ای شرایط خوبی برای برازش مدل دارد.



شکل ۷- مدل مَترن برای تغییر نگار فضایی



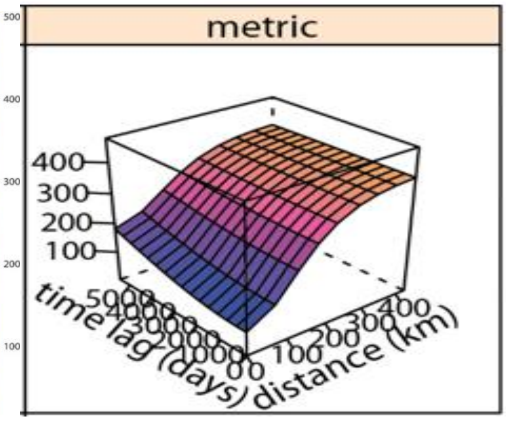
۸- مدل مَترن برای تغییرنگار زمانی

جهت برآورد و پیش‌بینی پارامتر نامعلوم روزهای گرد و غباری مدل‌های گوسـی، کروی، خطی، بِسِـل، مَترِن و نمایی به تغییرنگار تجربی فضایی و تغییرنگار تجربی زمانی و به تمامی مدل‌های تفکیک‌پذیر و غیر تفکیک‌پذیر شامل مدل‌های ضربی، ضربی جمعی، متریک، متریک ساده و متریک جمعی، مجموعاً ۱۴۴ مدل برازش داده شدند (جدول ۱)

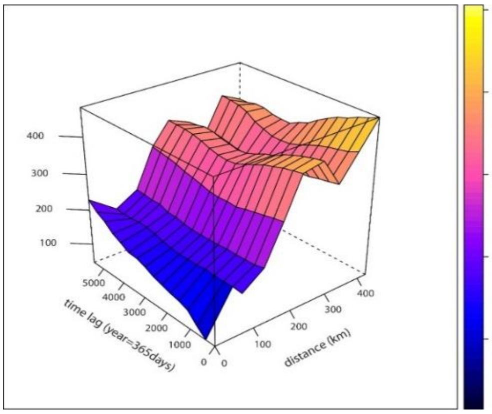
جدول ۱- برازش مدل‌های فضایی – زمانی تجربی با مدل‌های نظری تفکیک‌پذیر و غیر تفکیک‌پذیر

مدل متریک جمعی	مدل متریک ساده	مدل متریک	مدل ضربی	مدل فضایی-زمانی
۱۴۳۵,۱۲۶	۱۴۳۷,۰۵۹	۱۲۶۶,۶۶۳	۱۳۹۹,۴۷۲	مَترِن+ مَترِن

که مدل مَترِن با ضــریب کاپای ٤ برای تغییر نگار حاشــیه ایی فضــایی (شــکل ۷) و مدل مَترِن با ضــریب کاپای 0.6 برای تغییر نگار حاشیه ایی زمانی (شکل ۸) انتخاب شدند. خروجی‌ها نشان می‌دهند مدل متریک بهترین مدل برازش داده شـده جهت برآورد سالیانه روزهای گرد و غباری است که با کمترین مجذور مربعات خطا همراه اسـت. با توجه به دو مدل تجربی فضـایی و تجربی زمانی، تغییرنگار تجربی سـه بُعدی (شکل ۹) و بهترین مدل برازش داده شده آن نیز (شکل ۱۰) ترسیم شد.



شکل ۹- تغییر نگار تجربی سه بُعدی



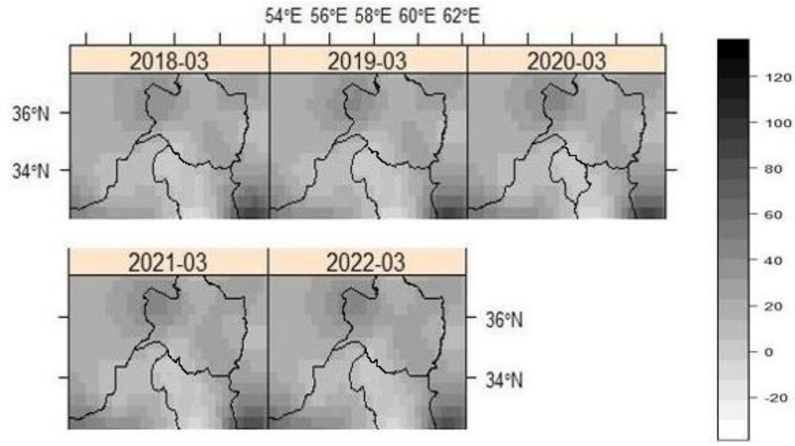
شکل ۱۰- مدل متریک

تغییرات در لَگ های زمانی و فاصله افقی نشان می‌دهد، داده‌ها هم در جهت زمانی و هم در جهت فضایی، وابسته هستند و شرایط خوبی برای پیش‌بینی دارند.

۳-۳- پیش‌بینی فضایی- زمانی

ساختار همبستگی فضایی- زمانی داده‌ها نشان می‌دهد که تغییر نگار فضایی - زمانی متریک می‌تواند طوفان گرد و غبار را در استان خراسان رضوی پیش‌بینی کند با این وجود در این پژوهش بازه‌ی ۵ ساله از سال ۲۰۱۸ تا سال ۲۰۲۲ مد نظر قرار گرفته است که نتایج خروجی فضایی - زمانی آن در شکل شماره ۱۱ و جدول شماره ۲ آمده است. تغییرات اساسی در پراکنش فضایی- زمانی داده‌ها در طول سال‌های مورد انتظار ازسال ۲۰۱۸ دیده می‌شود؛ بنابراین مهم‌ترین نقاطی که ارقام پیش‌بینی شده تعداد روزهای گرد و غباری سالیانه از مقادیر بالاتری برخوردارند عبارتند از: شمال شرق، شمال غرب و جنوب شرق استان خراسان رضوی.

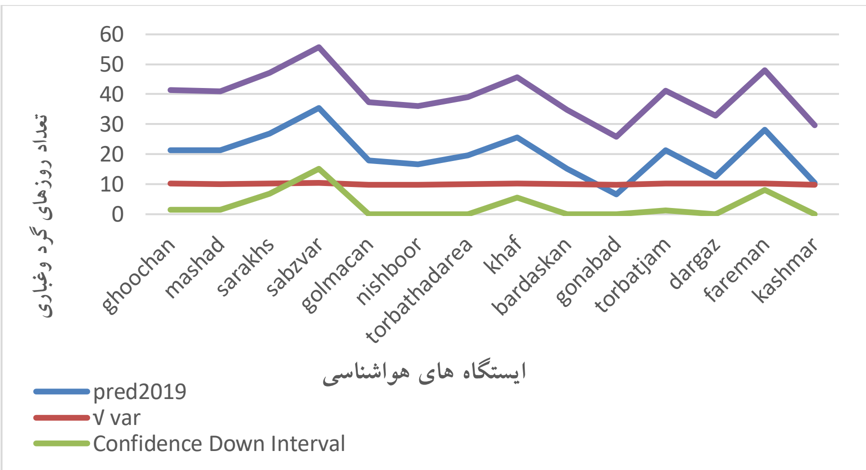
مقادیر پیش‌بینی شده سالیانه روزهای گرد و غباری در نواحی مرکزی استان خراسان رضوی در سال ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ نشان می‌دهد که این مناطق کمترین تعداد روزهای گرد و غباری را خواهند داشت ولی به تدریج بر میزان تعداد روزهای گرد و غباری آنها افزوده خواهد شد؛ به‌طوری که در سال ۲۰۲۲ اغلب نقاط استان به جز نقاط محدودی در شرق، غرب و جنوب شرق تعداد روزهای گرد و غباری در نواحی مرکزی و سایر نقاط افزایش چشمگیری خواهند داشت. (شکل ۱۱)



شکل ۱۱- پیش‌بینی فضایی – زمانی روزهای گرد و غباری با استفاده از مدل متریک

۳-٤- برآورد واریانس خطا

برآورد واریانس خطا برای ۵ سال مد نظر نشان می‌دهد دامنه آن از ۳۹ روز شروع شده و تا ٤۳ روز ادامه دارد که با توجه به دامنه محدود پیش‌بینی، با محاسبه جذر واریانس خطا مقادیر بالایی را نشان نمی‌دهد. همچنین خروجی‌ها نشان می‌دهد که کمترین تعداد روز گرد و غباری در استان خراسان رضوی در سال ۲۰۱۹ مربوط به ایستگاه گناباد حداکثر با ۷ روز و بیشترین تعداد روز گرد و غباری مربوط به ایستگاه سبزوار حداکثر با ۳۵ روز است. (شکل ۱۲)



شکل ۱۲- حدود اطمینان تعداد روزهای گرد و غباری در سطح اطمینان ۹۵٪ در سال ۲۰۱۹

جدول۲- پیش‌بینی تعداد روزهای گرد و غباری و حداکثر احتمال وقوع در سطح اطمینان ۹۵٪

شماره	ایستگاه	پیش‌بینی ۲۰۱۸	حد بالای اطمینان	پیش‌بینی ۲۰۱۹	حد بالای اطمینان	پیش‌بینی ۲۰۲۰	حد بالای اطمینان	پیش‌بینی ۲۰۲۱	حد بالای اطمینان	پیش‌بینی ۲۰۲۲	حد بالای اطمینان
1	قوچان	21	40	21	41	22	42	22	44	23	45
2	مشهد	21	40	21	41	22	42	22	43	22	44
3	سرخس	26	46	27	47	28	48	28	50	29	51
4	سبزوار	34	54	35	56	37	58	38	59	39	61
5	گلمکان	18	36	18	37	18	38	19	39	19	40
6	نیشابور	16	35	17	36	17	37	18	38	19	40
7	تربت‌حیدریه	19	38	20	39	20	40	20	41	21	42
8	خواف	25	45	26	46	26	47	27	48	27	49
9	بردسکن	14	33	15	35	16	36	17	38	18	39
10	گناباد	6	25	7	26	7	26	7	27	7	28
11	تربت جام	20	40	21	41	22	43	23	45	24	46
12	درگز	12	32	13	33	13	34	13	35	14	36
13	فریمان	28	47	28	48	29	49	29	50	29	51
14	کاشمر	10	29	10	30	11	31	12	32	12	33
15	میانگین	19	39	20	40	21	41	21	42	22	43

٤- نتیجه گیری

بررسی روند میانگین تعداد روزهای گرد و غباری سالیانه در استان خراسان رضوی نشان می‌دهد که از سال ۱۹۸۷ با میانگین ۱۲ روز به ۲۱ روز در سال ۲۰۱٦ رسیده است و از سال ۱۹۹۳ به بعد، به شدت سیر صعودی به خود گرفته است. به‌طور کلی پراکنش لَگ های تغییرنگار تجربی نشان می‌دهد که داده‌ها هم در جهت زمانی و هم در جهت فضایی دامنه طولانی دارند به همین دلیل تغییرنگار فضایی- زمانی به سقف نمی‌رسد. این بدین معناست که تعداد روزهای گرد و غباری در استان خراسان رضوی به شدت در حال افزایش است. برازش مدل‌های مختلف تغییر نگار فضایی- زمانی نشان می‌دهد که مدل متریک با کمترین میانگین مجموع مربعات می‌تواند تعداد روزهای گرد و غبار سالیانه را پیش‌بینی کند

تغییرات آستانه جزئی نشان داد که پیش‌بینی برای ٥ سال آینده می‌تواند انجام شود. پراکنش فضایی- زمانی تعداد روزهای گرد و غباری نشان می‌دهد تغییرات در بُعد فضا در سال ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ کمتر دیده می‌شود و به نقاط محدودی از شمال شرق، شمال غرب و جنوب شرق استان خراسان رضوی خلاصه می‌گردد؛ اما تغییرات زمانی تا سال ۲۰۲۲ نشان می‌دهد اغلب نقاط استان و نواحی مرکزی افزایش چشمگیری خواهند داشت. روند تغییرات

فضـایی– زمانی نشـان می‌دهد در سـال ۲۰۱۹ ایسـتگاه‌های قوچان، مشهد، سرخس، سبزوار، خواف، تربت جام و فریمان به ترتیب با،۲۸،۲۱،۲٦،۳۵،۲۷،۲۱،۲۱ تعداد روز گردو غباری پیش‌بینی شـده‌اند که حداکثر قابلیت اعتماد در سطح ۹۵٪ در این سال به ترتیب در همان ایستگاه‌ها به ٤۸،٤۱،٤٦،٥٦،٤۷،٤۱،٤۱ روز می‌رسد که بیشترین تعداد وقوع روز گرد و غبار مربوط به ایستگاه سبزوار با ٥٦ روز و پس از آن سرخس با ٤۷ روز است. در این سال ایستگاه‌های گناباد با ۷، کاشـمر با ۱۰ و درگز با ۱۳ روز با کمترین تعداد روز گرد و غباری پیش‌بینی شده‌اند که حداکثر احتمال وقوع گرد و غبار در این ایستگاه‌ها در سطح اطمینان ۹۵٪ به ترتیب به ۲٦، ۳۰ و ۳۳ روز می‌رسد.

روند پیش‌بینی فضایی_زمانی تعداد روزهای گرد و غباری سال ۲۰۲۲ نشان می‌دهد که ایستگاه گناباد با ۷ روز، تعداد روز گرد و غباری چندانی را نشان نمی‌دهد و بهترین شاخص کیفیت هوا را دارد که حداکثر احتمال وقوع آن تا ۲۸ روز می‌رسـد. همچنین حداکثر احتمال وقوع تعداد روزهای گرد و غباری در ایسـتگاه‌های قوچان، مشـهد، سرخس، سبزوار، خواف، تربت جام و فریمان به ترتیب با تعداد،٥۱،٤٦،٤۹،٦۱،٥۱،٤٤،٤٥ روز پیش‌بینی شده‌اند که می‌تواند در برنامه ریزی منطقه‌ای و ناحیه‌ای در این استان مدّ نظر قرار گیرد.

کتابنامه

آمار سازمان هواشناسی کشور، سرعت باد و دید افقی از ۱۹۸۷/۱/۱ لغایت ۲۰۱٦/۱۲/۳۱.

امیدوار، کمال؛ نکونام، زری؛ ۱۳۹۰. کاربرد گلباد و گل غبار در تحلیل پدیده گرد و خاک و تعیین رژیم فصلی بادهای همراه با این پدیده (مطالعه موردی: شهر سبزوار). پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. ۷٦. ۱۰٤–۸٥.

پورهاشـمی، سـمیرا؛ بروغنی، مهدی؛ زنگنه اسـدی، محمدعلی؛ امیراحمدی، ابوالقاسـم؛ ۱۳۹٤. تحلیل ارتباط پوشش گیاهی و وقوع تعداد روزهای گرد و غبار استان خراسان رضوی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور. سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی.٦ (٤). ٤٤–۳۳

جهانشیری، مهین، ۱۳۸۹؛ بررسی آماری و سینوپتیکی آلودگی هوای مشهد. پایان نامه کارشناسی جغرافیای طبیعی اقلیم شناسی. استاد راهنما: علیرضا انتظاری، دانشگاه حکیم سبزواری. سبزوار.

ضـیائی گلریز، زهرا؛ صـادقی، حمید؛ معتمدی، محمد؛ ژاله رجبی، میترا؛ ۱۳۹۰. پیش‌بینی ارزش‌گذاری و ترسیم نقشه آلودگی هوای شهر مشهد، (مطالعه موردی گاز مونوکسید کربن) ۲ و ۳ آذر ماه. اولین کنفرانس اقتصاد شهری ایران. مشهد.

علیجانی، بهلول؛ نجفی نیک، زهرا؛ ۱۳۸۸. بررسـی سـینوپتیکی اینورژن در مشـهد با اسـتفاده از تحلیل عاملی. مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای. ۱۲، ۱۲–۱.

فرج زاده اصـل، منوچهر، علیزاده؛ خاطره؛ ۱۳۸۹. تحلیل زمانی و مکانی طوفان‌های گرد و غبار در ایران. نشریه برنامه ریزی و آمایش فضا. ۱، ۸٤–٦٥.

قربانی، محمد؛ فیروز زارع، علی؛ ۱۳۸۸. مقدمه‌ای بر ارزش‌گذاری محیط زیست. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد. ۱۳۸۹. ۱٥٦.

کاخکی مهنه، حمید؛ ۱۳۹۲. استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی در بررسی روابط بین عناصر اقلیمی و نوسانات آلودگی هوا در کلان شهر مشهد. پایان نامه کارشناسی ارشد. گرایش اقلیم شناسی در برنامه ریزی محیطی. استاد راهنما: محمد سلیقه. دانشگاه خوارزمی. تهران.

لشکری، حسن؛ کیخسروی، قاسم؛ ۱۳۸۷. تحلیل آماری سینوپتیکی طوفان‌های گرد و غبار استان خراسان رضوی در فاصله‌ی زمانی (۲۰۰٥–۱۹۹۳). پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. ٦٥. ۳۳–۱۷.

محمدزاده، محسن؛ ۱۳۹٤. آمار فضایی و کاربردهای آن. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس. چاپ دوم. ۲۷، ۷۱، ۸۱.

محمدی مرادیان، جمیله؛ حسین زاده، سیدرضا؛.۱۳۹٤. پایش ماهواره‌ای و تحلیل همدید پدیده گرد و غبار در کلان شهر مشهد طی دوره آماری ۲۰۱۳–۲۰۰۹. جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۱٤. ٥۷–۳٥

مهرشاهی، داریوش؛ نکونام، زری؛ ۱۳۸۸. بررسی آماری پدیده‌های گرد و غبار و تحلیل الگوی وزش بادهای گرد و غبارزا در شهرستان سبزوار. نشریه علمی– پژوهشی انجمن جغرافیایی ایران. ۷ (۲۲). ۱۰٤–۸۳

Annex II to the WMO Technical Regulations Part A – Alphnumeric Codes WMO-No. 306, A-56,376,356, 2011edition, pp:l.2- CODE/FLAG Tabels/20-6.

Annex II to the WMO Technical Regulations, Manual on Codes International Codes Volume I.1, Part A – Alphnumeric Codes, Updated in 2015.pp:Xviii.

Bivand, R & Altman., M & Anselin, L. (2017). Spatial Dependense Weighting Schemes statistics and Model. Package ‛spdep’. R Core Development Team. 2017. Version 0.7-4. URL: http:// github.com/r-spatial/spdep/

Caeiro, F & Mateus, A. (2015). Testing Randomness in R. Package ‛rand tests’. R Development Core Team. 2015. Version 1.0.

Colles J, & Traylor.(2003). Francis, Air Pollution. Inc, Lamdon and New York.

Cressie, N. (1993). Statistics for spatial data,John Wily,Sons,NewYork.

De Cesare, L. Myers, D. Posab (2001). D. Estimating and modeling spacetime correlation structures. Statistics & Probability Letters. 51, (1), 9-14.

Gaetan, C. Guyon, X. (2010). Spatial Statistics and Modeling. Springer New York Dordrecht Heidelberg London. 166.

Gräler, B & Pebesma,E.& Heuvelink,(2016). G. Spatio-Temporal Interpolation using gstat, The R Journal. 8/1,. 2073-4859.

Hengel,T & Roudier, P & Beaudette, D & Pebesma, E.(2015). Plot KML: Scientific Visualization of Spatio-Temporal Data. Journal of Statistical Software., 63(5). http://www.jstatsoft.org/ Institute for Geoinformatics University of M¨unster, Germany.

Kilibarda, M. (2013). A Plot Google Maps Tutorial. University of Belgrade, Faculty of Civil Engineering, Department of Geodesy and Geo informatics, Bulevar kralja Aleksandra,73, 11000 Belgrade, Serbia.3(14).

Loecher, M. (2016). Overlays on Static Maps. Package ‛R Google Maps’. R Core Development Team. 2016. Version 1.0.4.1.

Mateus, A & Caeiro, F. (2014). ″An R Implementation Of Several randomness Tests″. Faculaded de ciencias e Tecnologia & CMA - Universidade Nova de Lisboa. International Conference of Comutational Methods in Science An Engineering. ICCMSE. 531- 534.

Pebesma, E, &.Bivand, R. Classes and Methods for Spatial Data. Version 1.2-5. Package ‘sp’. June 29, 2017 URL https://github.com/edzer/sp/ https://edzer.github.io/sp/

Pebesma, E. (2012). spacetime: Spatio-temporal data in R. Journal of Statistical Software, 51(7), 1-30.

Pebesma, E. (2013). Spatio-temporal overlay and aggregation. Ifgi. Institute for Geoinformatics University of Münster.

Pebesma, E. Spatial and Spatio-Temporal Geostatistical Modelling, Prediction and Simulation. ‘gstat’Package. R Development Core Team. 2017. Version 1.1-5. URL https://github. com/ edzer/ gstat/

Pebesma, E., & Gräler, B. (2016). Spatio-temporal geostatistics using gstat. Institute for Geoinformatics, University of Münster Rep.

Pebesma,E & Gräler, B. Gottfried,T. Hijmans, R.(2017). Classes and Methods for Spatio-Temporal Data. spacetime’Package. R Development Core Team. Version 1.2-1. URL http:// github. com/ edzer/ spacetime

R Development Core Team. (2011). R: A language and environment for statistical computing.

Robert J. Hijmans. 2017. Geographic Data Analysis and Modeling.‘Raster’Package.R Core Development Team. Version 2.5-8.URL http://cran.r-project.org/package=raster.

United Nations Enviroment Programme, Environmental News Emergencies, Available from: URL: http//: www unep org/ depi/ programmes/ emergencies html, (Accessed: 2005).